

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-174422

(43)Date of publication of application : 09.07.1996

(51)Int.Cl.

B24C 1/10

B24B 1/00

C21D 7/06

G21D 1/00

(21)Application number : 06-325031

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 27.12.1994

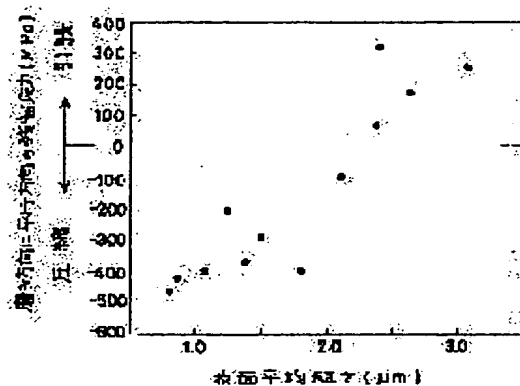
(72)Inventor : OBATA MINORU
SUDO AKIRA

(54) METHOD FOR REFORMING SURFACE OF IN-PILE STRUCTURE OF NUCLEAR REACTOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To previously prevent the generation of stress corrosion crack by converting the residual stress to the compressive stress without raising the surface strength.

CONSTITUTION: Polishing is performed to the surface of the in-pile structure of a nuclear reactor or the surface of a welding part of the structure so as to form the compressive stress, or multiple fine balls of metal or ceramics, which are accelerated by the high-pressure air, are made to collide to the surface, and thereafter, polishing is performed so as to form the compressive stress on the surface, or polishing is performed so as to finish the surface at a mean roughness (JISB0601-1982) of 2 μ m or less.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-174422

(43) 公開日 平成8年(1996)7月9日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 4 C 1/10	A			
B 2 4 B 1/00	Z			
C 2 1 D 7/06	B	8821-4K		
G 2 1 D 1/00				

G 2 1 D 1/00 X
 審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-325031

(22) 出願日 平成6年(1994)12月27日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 小畑 稔

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 須藤 亮

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

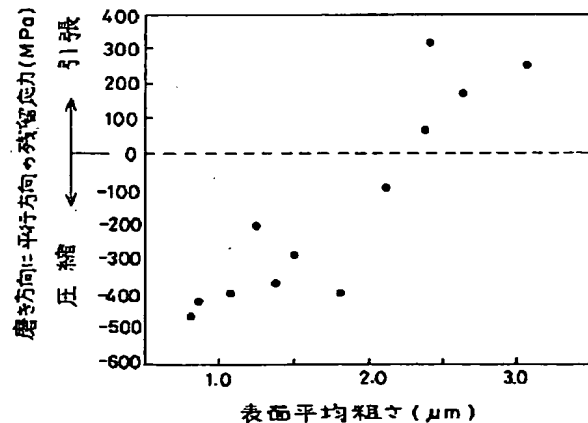
(74) 代理人 弁理士 猪股 祥晃

(54) 【発明の名称】 原子炉炉内構造物の表面改質方法

(57) 【要約】

【目的】表面の強度を上昇させずに、残留応力を圧縮応力に変換して応力腐食割れを未然に防止する。

【構成】原子炉炉内構造物の表面またはその構造物の溶接部表面に、研磨仕上げを施して圧縮応力を形成するか、高圧空気によって加速された多数の金属またはセラミックスの小球を衝突させた後、研磨仕上げを施して表面に圧縮応力を形成するか、研磨仕上げにより表面を平均粗さ (JIS B 0601-1982) 2 μm 以下に仕上げる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 原子炉炉内構造物の表面またはその構造物の溶接部表面に研磨仕上げを施して圧縮応力を形成することを特徴とする原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 2】 原子炉炉内構造物の表面またはその構造物の溶接部表面に高圧空気によって加速された多数の金属またはセラミックスの小球を衝突させた後、研磨仕上げを行い、表面に圧縮応力を形成することを特徴とする原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 3】 原子炉炉内構造物溶接部または構造物表面を研磨仕上げにより表面を平均粗さ (JIS B 0601-1982) 2 μm 以下に仕上げることを特徴とする原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 4】 前記多数の金属またはセラミックスの小球の加速手段は遠心力であることを特徴とする請求項 2 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 5】 多数の金属またはセラミックスの小球の加速手段は高圧水であることを特徴とする請求項 2 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 6】 多数の金属またはセラミックスの小球の加速手段は超音波振動であることを特徴とする請求項 2 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 7】 前記請求項 1 ないし請求項 3 の表面改質方法を原子炉炉内構造物の建設時に前記原子炉炉内構造物の表面またはその構造物の溶接部表面に施工することを特徴とする請求項 1 ないし 3 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 8】 前記請求項 1 ないし請求項 3 の表面改質方法を既設原子炉の原子炉炉内構造物の表面またはその構造物の溶接部表面に施工することを特徴とする請求項 1 ないし 3 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 9】 前記研磨仕上げは高速で回転する軸の半径方向に 2 枚以上のエメリー紙を取り付けた磨き工具により行うことを特徴とする請求項 1 ないし 3 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 10】 前記研磨仕上げは前記高速で回転する軸に取り付けた磨き工具により行い、この磨き工具はセラミックス研磨材を含浸させた樹脂製あるいは化学繊維製であることを特徴とする請求項 1 ないし 3 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 11】 前記高速で回転する軸に取り付ける磨き工具に含浸させるセラミックス研磨材はアルミナ、炭素珪素、炭化タングステンの少なくとも一種からなることを特徴とする請求項 1 ないし 3 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【請求項 12】 前記樹脂製または化学繊維製磨き工具は、気孔率が 10% 以上であることを特徴とする請求項 1 ないし 3 記載の原子炉炉内構造物の表面改質方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば原子炉炉内構造物を構成するオーステナイト系ステンレス鋼またはニッケル基合金の残留応力改善を行う原子炉炉内構造物の表面改質方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 軽水炉炉内構造物はオーステナイト系ステンレス鋼またはニッケル基合金などの高温高圧水環境下において十分な耐食性と高温強度を有する材料で構成されている。しかしながら、交換不可能な部材に対してはブラントの長期に渡る運転により長期間高温高圧環境下中に曝され、しかも炉心材料は中性子照射を受けるため、それらが原因となって起こる材料劣化の問題が懸念されている。

【0003】 特に、炉内構造物溶接部近傍は溶接入熱による材料の鋭敏化および引張り残留応力が形成されているため、潜在的な応力腐食割れ発生の可能性を有している。応力腐食割れの発生を未然に防止し、軽水炉ブラントの信頼性を向上させるため、種々の研究開発が行われている。

【0004】 また、最近、ブラントの運転期間の長期化に対応して予防保全技術の開発が行われている。このような炉内構造物の耐応力腐食割れ対策のひとつとして、表面残留応力を積極的に引張りから圧縮に変えるための施工技術、施工装置が検討されている。

【0005】 ところで、表面に圧縮応力を形成する技術としてはショットピーニングが知られている。ショットピーニングは高圧空気または遠心力によって、ショットと呼ばれる金属またはセラミックスなどの小球を高速に加速し、その運動エネルギーによって構造材料表面を塑性加工する技術である。

【0006】 その効果として疲労強度が飛躍的に改善され、自動車、航空機等種々の産業分野で広く応用されている技術である。また、疲労強度改善と同時に表面の応力状態を圧縮応力にする効果も知られており、その効果を積極的に表面の引張り残留応力が原因となって起こる応力腐食割れ対策として技術開発も行われている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、ショットピーニングの場合、表面に圧縮応力を形成すると同時に、表面近くを塑性変形させるため、表面近傍は加工硬化により強度が上昇する。このような強度上昇は、被施工部材が受ける外部応力条件によっては逆に応力腐食割れを助長する恐れが指摘されている課題がある。したがって、表面の強度を上昇させずに圧縮応力を形成する技術が求められている。

【0008】 本発明は上記課題を解決するためになされたもので、軽水炉炉内構造物の構成部材であるオーステナイト系ステンレス鋼またはニッケル基合金、あるいは中性子照射により強度が上昇した照射硬化材に対して、表面の強度を上昇させずに残留応力を圧縮応力に変換し

応力腐食割れを未然に防止することができる原子炉炉内構造物の表面改質方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、原子炉炉内構造物の表面またはその構造物の溶接部表面に研磨仕上げを施して圧縮応力を形成することを特徴とする。また、本発明は原子炉炉内構造物の表面またはその構造物の溶接部表面に高圧空気によって加速された多数の金属またはセラミックスの小球を衝突させた後、研磨仕上げを行い、表面に圧縮応力を形成することを特徴とする。さらに本発明は原子炉炉内構造物溶接部または構造物表面を研磨仕上げにより表面を平均粗さ（JIS B 0601-1982） $2\mu\text{m}$ 以下に仕上げることを特徴とする。

【0010】

【作用】一般に、原子炉炉内構造物のような溶接構造物表面は熱処理または溶接入熱による表面酸化膜あるいは汚れの除去、平滑化の目的で表面研磨仕上げが行われている。本発明は、従来そのような目的で使われてきた表面研磨技術を原子炉炉内構造物表面の応力改善の手段として用いるものである。

【0011】研磨仕上げの磨き工具（ツール）の形状は、シート、ロール、ディスク、ベルトまたはフラップホイールと呼ばれる回転軸まわりに半径方向にシートを取り付けたものなどいずれのものでもよい。

【0012】本発明者らは種々の磨き工具の研磨条件と表面に形成される残留応力の関係を実験的に明らかにした。材質はエメリー紙または樹脂製、化学繊維を接着剤で固めた母材にセラミックス製研磨材を含浸させたものを用いることにより表面に確実に圧縮応力を形成できることを確認した。また、研磨仕上げ後の材料表面粗さと表面残留応力の間にはある相関関係があることを見出した。

【0013】図1にフラップホイール加工面の加工方向に直角方向の表面平均表面粗さと磨き方向に平行方向の表面残留応力の関係を示す。平均表面粗さの値が $2\mu\text{m}$ を境界に圧縮から引張りに変化することがわかる。

【0014】また、圧縮応力の領域では表面粗さが小さい（平滑）であるほど、応力値が大きくなる傾向がある。表面粗さは研磨に用いるエメリー紙の粗さ、手動で施工する際には作業者の押し付け力、回転数などで決まるため、表面に圧縮応力を形成するにはそれらの作業条件の変動を小さく抑える必要がある。

【0015】ナイロン繊維を高分子接着剤で結合した母材にアルミナを含浸させた磨き工具を用いた場合は表面粗さが最大でも $1.7\mu\text{m}$ であり、どのような条件（押し付け強さ、回転数）で施工しても表面には圧縮応力が形成された。

【0016】図2は同一材質の磨き工具の研磨材気孔率と磨き方向に平行の表面残留応力との関係を示している。気孔率が大いほど圧縮応力が大きくなる傾向があ

る。原子炉炉内構造物溶接線には500MPa以上の高い残留応力が形成されている可能性があり、応力腐食割れ感受性が十分に低いレベルまで応力値を下げるには、気孔率の高い磨き工具を使用すべきである。

【0017】例えば、あらかじめ表面に500MPa程度の引張り残留応力が存在した場合には表面応力を圧縮するために気孔率10%以上が必要であることがわかる。また、含浸させる研磨材の種類は表面応力に顕著な影響はなく、研磨効率を上げる材質であれば、アルミナ、炭素珪素、炭化タングステンなどの少なくとも一種から選ばれ、これらを適宜混合して使用することもできる。

【0018】以上のように研磨によって表面に圧縮応力を形成できるが、ショットピーニングにより確実に圧縮応力を形成した後、表面の冷間加工層を研磨仕上げによって除去してもよい。ショットピーニングによって形成される冷間加工層の厚さは、施工条件に依存することが知られている。

【0019】図3は高圧空気直圧式ショットピーニング装置で施工した場合のスチールショット径とショットピーニングによる表面冷間加工層厚さとの関係を示している。投射圧力は 5 kgf/cm^2 である。冷間加工層の厚さは、ショットピーニング後の断面硬度測定の結果から母材硬度より高い値を示す領域の厚さとした。ショット径が小さくなるにつれて冷間加工層は薄くなり、 0.3mm 以下のショットの場合には、冷間加工層は $70\mu\text{m}$ 以下になることがわかる。

【0020】図4は 0.3mm ショット（SUS304）を用いた場合の、ピッカース硬度と表面からの距離との関係、つまり深さ方向依存性を示している。ショットピーニングにより顕著な硬度上昇の起きている部分はさらに表層部のごく薄い層に限られていることがわかる。 0.3mm ショットを用いた場合には表面から約 $30\mu\text{m}$ を研磨仕上げにより除去すれば、応力腐食割れを助長することが懸念される冷間加工層を取り除けることがわかる。

【0021】エメリーフラップホイールにより表面から約 $30\mu\text{m}$ 除去後の表面残留応力をX線応力測定法によって評価したところ550MPaの圧縮応力が形成されていることが確認された。

【0022】それよりも大きなショットを用いた場合には冷間加工層が厚く形成されるため、研磨仕上げにより除去するには施工効率を考慮すると現実的でないことが確認された。

【0023】したがって、ショット径としては 0.3mm 以下のショットを用いることが望ましい。このような技術を経験で適用する場合のショットを加速する手段としては遠心力を用いてもよい。また、予防保全技術として運転プラントに適用する場合には、施工環境が水中であることが考えられるため、高圧空気の代わりに高圧水または超音波振動を用いてもよい。

【0024】特に、運転プラントに適用する場合、高圧

空気加速では投射されたショットの回収が困難になる恐れがあり、その点、高圧水あるいは超音波による加速が有利である。

【0025】以上、応力腐食割れを防止するための表面改質方法を原子力プラント建設時に適用することによって、プラントの信頼性向上、長寿命化につながる。また、既設原子炉の予防保全技術として定期検査時に炉内構造物溶接線に適用しても十分な効果が期待できる。運転プラントに適用する場合は遠隔自動施工になるが、原子炉炉内構造物の建設時に適用する場合には手動でもよい。

【0026】施工対象材料は原子炉炉内構造物用材料であるSUS304あるいはSUS316Lのオーステナイト系ステンレス鋼およびインコネル660,182などのニッケル基合金であり、それぞれの溶接線に対する有効性を確認している。

【0027】

【実施例】つぎに本発明に係る原子炉炉内構造物の表面改質方法の第1から第7までの実施例を説明する。

(第1の実施例) ナイロン繊維を高分子接着剤で固めた母材中に、アルミナ研磨材を含浸させた磨きディスクを圧縮空気で駆動する工具に取り付け、SUS304板材の表面に研磨加工を施した。同一箇所5回施工した後、表面応力をX線応力測定法により、表面粗さを触針式の表面粗さ計によって測定した。表面には560MPaの圧縮応力が形成されており、平均表面粗さは $0.88\mu\text{m}$ であった。

【0028】(第2の実施例) ナイロン繊維を高分子接着剤で固めた母材中に、アルミナ研磨材を含浸させた磨きディスクを圧縮空気で駆動する工具に取り付け、インコネル600板材の表面に研磨加工を施した。同一箇所を5回施工した後、表面応力をX線応力測定法により、表面粗さを触針式の表面粗さ計によって測定した。表面には610MPaの圧縮応力が形成されており、平均表面粗さは $1.20\mu\text{m}$ であった。

【0029】(第3の実施例) 本実施例は、運転プラントに適用する際の炉心に近い材料は中性子照射により強度が上昇していることが知られているので、そのような高強度材に対する有効性を調べるため、冷間加工した材料を用いて試験を行った。

【0030】ナイロン繊維を高分子接着剤で固めた母材中に炭化珪素研磨材を含浸させた磨きディスクを圧縮空気で駆動する工具に取り付け30%冷間加工したSUS304板材の表面に研磨加工を施した。

【0031】同一箇所を7回施工した後、表面応力をX線応力測定法により、表面粗さを触針式の表面粗さ計によって測定した。表面には635MPaの圧縮応力が形成されており、平均表面粗さは $1.13\mu\text{m}$ であった。

【0032】(第4の実施例) 本実施例では、建設プラントのシュラウドに対する有効性を確認するため、シュラウド横溶接線を模擬したSUS316L製シュラウドモック

アップ試験体を作製した。2枚の板厚40mmで500mm×500mm板材の端面を開先加工後、両板材を拘束状態で実機溶接施工手順に従い作製した40mm×1000mm×1000mmの試験体溶接部に、ナイロン繊維を高分子接着剤で固めた母材中にアルミナ研磨材を含浸させた磨きディスクを圧縮空気で駆動する工具に取り付け研磨加工を施した。

【0033】同一箇所を5回施工した後、表面応力をX線応力測定法により測定した。施工前後の表面残留応力測定結果を図5に示す。図5は溶接線に平行の表面残留応力と溶接金属/母材境界からの距離との関係を溶接後と研磨後で示している。図5から明らかなように、溶接により形成された引張り残留応力が400～550MPaの圧縮応力に変換されていることがわかる。

【0034】(第5の実施例) 板厚40mmで500mm×500mm2枚の板材端面を開先加工後、両板材を拘束状態で実機溶接施工手順に従いつき合わせ溶接し、40mm×1000mm×1000mmのシュラウド横溶接線を模擬したSUS316L製シュラウドモックアップ試験体を作製した。

【0035】溶接線と母材境界から40mmの範囲を0.2mmのスチールショットを用いてショットピーニングを施した後、180番のエメリーフラップホイールを圧縮空気で駆動する工具に取り付け研磨加工を施した。同一箇所を3回施工した後、X線応力測定法により表面残留応力を測定した。

【0036】施工前後の測定結果を図6に示す。図6中、たて軸とよこ軸は図5と同様である。溶接により形成された引張り残留応力が350～500MPaの圧縮応力に変換されていることが認められる。また、応力測定後試験体を切断して施工部断面の硬さ分布を測定した結果、表面近傍にはショットピーニングによる顕著な強度上昇が見られないことが確認された。

【0037】(第6の実施例) 板厚40mmで500mm×500mm2枚の板材端面を開先加工後、両板材を拘束状態で実機溶接施工手順に従いつき合わせ溶接し40mm×1000mm×1000mmのシュラウド横溶接線を模擬したSUS304製シュラウドモックアップ試験体を作製した。

【0038】溶接線と母材境界から40mmの範囲を0.2mmのスチールショットを用いてショットピーニングを施した後、180番のエメリーフラップホイールを圧縮空気で駆動する工具に取り付け研磨加工を行った。同一箇所を3回施工した後X線応力測定法により表面残留応力を測定した。

【0039】溶接により形成された引張り残留応力が、300～450MPaの圧縮応力に変換されていることがわかる。また、応力測定後試験体を切断して施工部断面の硬さ分布を測定した結果、表面近傍にはショットピーニングによる強度上昇が見られないことが認められた。

【0040】(第7の実施例) 超音波振動ショットピーニングは、主に配管内外面溶接部あるいはCRDハウジング、ICM(インコアモニター)ハウジングなどの炉

底部の溶接部の残留応力改善に適した施工方法である。

【0041】溶接部を囲むようにシール構造のチャンバーを設置し、チャンバー内に超音波の媒体となる液体（水）と一定量のショットをチャンバー内に注入し、チャンバーの容量に合わせた出力および振動数で一定時間加振し、溶接部全体を同時に応力改善する施工方法である。チャンバーを設置すれば比較的短時間で全体が均一に施工できるのが特徴である。

【0042】配管溶接部を模擬した直径170mm、肉厚6mmの溶接継手管材外面溶接部を包み込むようにチャンバーを設置し、チャンバー内に100gの0.3mmショットと媒体として水を注入し、周波数30kHzの磁歪型振動子を用いて20秒間ショットピーニングした。

【0043】その後、チャンバーを取り外しショットピーニング施工部をエメリーフラップホイール仕上げした。施工部表面の残留応力を測定したところ387MPaの圧縮応力が形成されていることが認められた。

【0044】

【発明の効果】本発明によれば、原子炉炉内構造物の応力腐食割れ対策として原子炉炉内構造物の表面または溶*20

*接部に表面研磨またはショットピーニング処理後、表面研磨して原子炉炉内構造物表面または溶接部の表面応力を圧縮応力に変換する。これにより、炉内構造物またはその溶接部の応力腐食割れを未然に防止し、機器の長寿命化をはかることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の作用を説明するための表面平均粗さと表面残留応力の関係を示す特性図。

【図2】図1と同じく、研磨材気孔率と表面残留応力の関係を示す特性図。

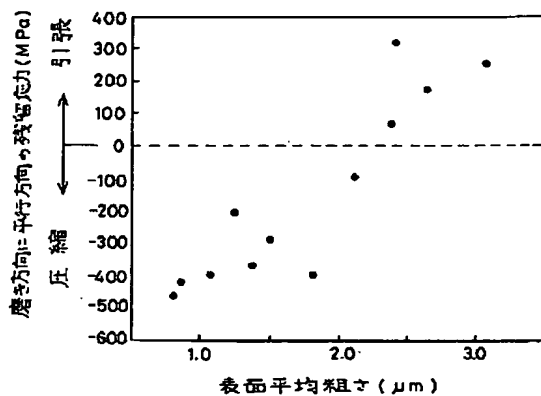
【図3】図1と同じく、ショット径と冷間加工層厚さの関係を示す特性図。

【図4】図1と同じく、ショットピーニング材のピッカース硬度と表面からの距離の関係を示す特性図。

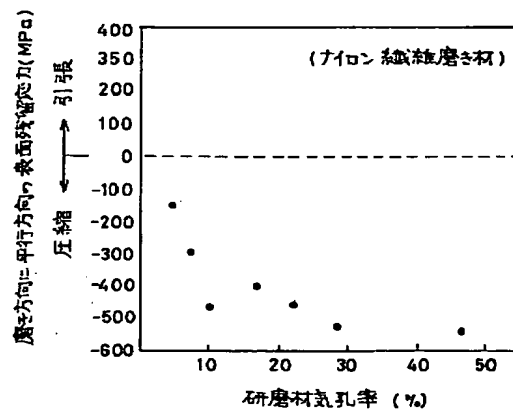
【図5】本発明に係る第4の実施例における研磨仕上げ前後の表面残留応力を示す特性図。

【図6】本発明に係る第5の実施例におけるショットピーニングと研磨仕上げ前後の表面残留応力を示す特性図。

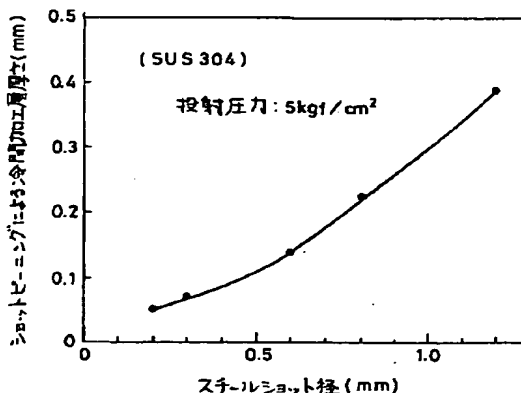
【図1】



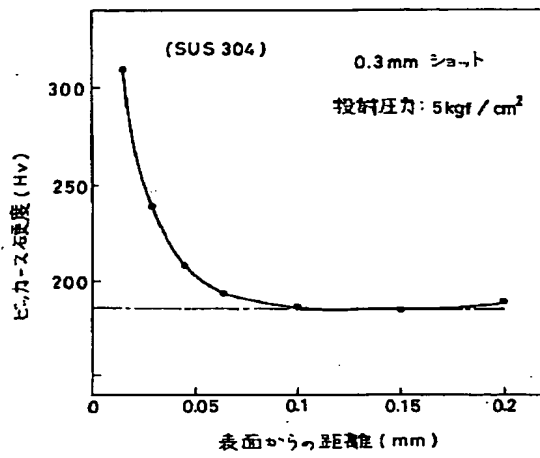
【図2】



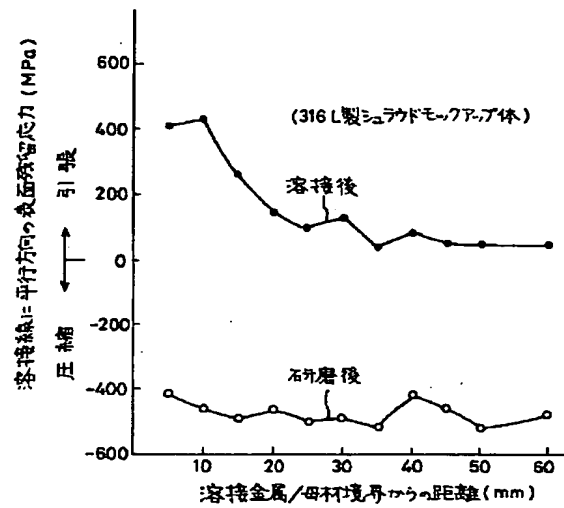
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

